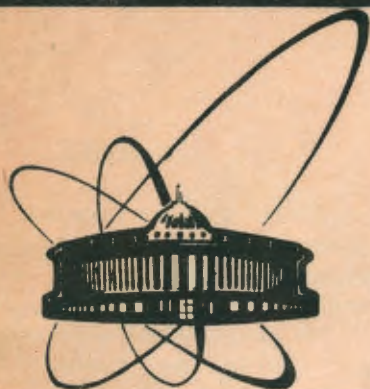


90-9



**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

Б 241

P11-90-9

М.К.Баранчук, Т.Г.Ефимова, Л.А.Кулюкина,
Г.А.Ососков, Н.И.Чернов, В.Н.Шкунденков

**АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПОДСЧЕТ ИОНИЗАЦИИ
СТРИМЕРНЫХ ТРЕКОВ МЕТОДОМ МЕДИАННОГО
СГЛАЖИВАНИЯ ДАННЫХ ПОЛУТОНОВОГО
СКАНИРОВАНИЯ НА АЭЛТ-2/160**

1990

1. ВВЕДЕНИЕ

Автоматическая обработка изображений обеспечивает не только быстроту и высокую точность измерений, но и возможность определения таких важных характеристик, как, например, плотность стримеров на треке в стримерной камере установки РИСК^{/1/}. Эта плотность называется ионизацией и позволяет идентифицировать релятивистские частицы в диапазоне импульсов до 100 ГэВ/с^{/2/}.

При ручных измерениях ионизации подсчитывается число стримеров S на заданном участке изображения трека длиной L и затем отношение $g = S/L$ используется как оценка ионизационной плотности для идентификации частиц.

При автоматических измерениях бинарных /т.е. черно-белых/ изображений треков на снимках с пузырьковых камер удалось достигнуть хороших результатов в оценке ионизации благодаря одинаковому диаметру пузырьков и высокому качеству изображения^{/3,4/}. Оценка ионизации проводилась главным образом по теоретически известному распределению длин промежутков между пузырьками на оцифрованном изображении трека, что позволяет применить метод максимума правдоподобия^{/5/}.

Однако применение этого опыта при обработке фильмов со стримерных камер оказалось весьма проблематичным в силу ряда причин^{/6/}:

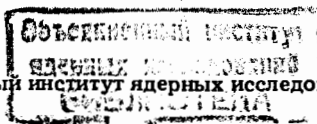
- переменный /случайный/ диаметр стримеров, в результате чего появляются т.н. блобы - сгустки стримеров, образующиеся из-за перекрытия и даже поглощения изображений одних стримеров другими;

- разница в контрасте и фоне на различных снимках /иногда в пределах одного снимка/;

- нечеткость контуров стримеров при бинарной оцифровке на плохих и загрязненных снимках.

Проведение теоретических исследований^{/7/}, анализ вычислительных экспериментов^{/8/} и в особенности реальных данных^{/9,10/} показали, что при обработке бинарных изображений точность методов, основанных на использовании длин промежутков между блобами, недостаточна. Аналогичный вывод сделан в^{/7,8/} относительно попыток оценивать ионизацию по длинам самих блобов.

В этой связи в работах^{/7,10/} исследовалась возможность оценивать число стримеров в каждом блобе при помощи алгоритма "вы-



резания" стримеров /ABC/. Алгоритм заключается в вырезании из блока участка с максимальной шириной. Длина вырезаемого участка принимается равной этой максимальной ширине. Затем эта процедура последовательно применяется к оставшимся кускам блока. Такое расчленение каждого блока на стримеры последовательно продолжается, пока длины оставшихся кусков не станут меньше заданного малого порога.

Теоретические исследования процедуры вырезания в/7/ не выглядели оптимистичными, но практические результаты ее применения/10/ показали, что величина относительной ошибки в определении ионизации находится на уровне 10%, а это вполне приемлемо в ряде случаев. С появлением полутонового сканирования на автомате АЭЛТ-2/160 появилась и возможность более точного подсчета ионизации за счет привлечения информации о распределении яркости на изображении стримеров.

Теоретические исследования этих возможностей проводились в/11/, но они были основаны на модели, не отражавшей всех особенностей реальных изображений треков.

Оценению ионизации стримерных треков на автомате АЭЛТ-2/160 по реальным данным посвящена настоящая работа.

2. ИЗМЕРЕНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ ТРЕКОВ НА АЭЛТ-2/160

В сканирующей системе АЭЛТ-2/160 кроме обычного, построчного режима сканирования реализован поточечный режим/15/, в котором измеряется оптическая плотность как штриховых, так и полутоновых изображений. Для штриховых изображений поточечный режим используется в случаях низкой контрастности, большой зашумленности или для получения дополнительной информации о распределении плотности почернения штриха.

В поточечном режиме световое пятно, просвечивающее фотоизображение, выводится в точку с заданными координатами и останавливается там на время, необходимое для измерения амплитуды сигнала от фотоэлектронного умножителя. Управляющая ЭВМ СМ-4 может обрабатывать данные сразу же после измерения в каждой точке, что позволяет организовать предельно гибкий режим управления сканированием. Одним из методов является поточечное сканирование вдоль прямой скан-линии, которое дает информацию о форме сечения рельефа оптической плотности изображения.

Управление сканированием ведется сервисной подпрограммой на ЭВМ СМ-4, соединенной с автоматом АЭЛТ-2/160. При вызове этой подпрограммы /из любой пользовательской программы на Фортране/ задается начальная точка (x,y) на скан-линии

и приращение (dx, dy) при переходе от точки к точке вдоль скан-линии. Таким образом можно задать произвольное расположение и направление скан-линии на кадре. Оптическая плотность изображения квантуется на 256 уровней /т.е. результат занимает 1 байт на точку/. Время измерения в одной точке 200 мкс.

Для получения реальных данных использовались 13 снимков пучковых треков пионов с импульсом 38 ГэВ/с, полученных в стримерной камере установки РИСК. Маски треков метились световым карандашом, к меченым точкам маски /их было 6 на трек/ подгонялась дуга окружности, и сканирование осуществлялось в узкой дорожке /ок. 1 мм/ вокруг полученной дуги на участке трека длиной 10-15 мм. Направление скан-линий устанавливалось перпендикулярно дуге. Промежутки между скан-линиями и между точками на скан-линиях соответствовали диаметру светового пятна /~20 мкм/. На каждую скан-линию попадало от 25 до 40 точек, число скан-линий на трек колебалось от 500 до 800.

Полученная информация записывалась в стандартные массивы в упакованном формате /1 байт на точку сканирования/ и переносилась с помощью магнитных лент на ПЭВМ "Правец", где и происходила отладка алгоритмов вычисления ионизации. Для визуализации данных и результатов обработки была написана специальная программа /на Фортране и ассемблере процессора 8088 ПЭВМ "Пра-

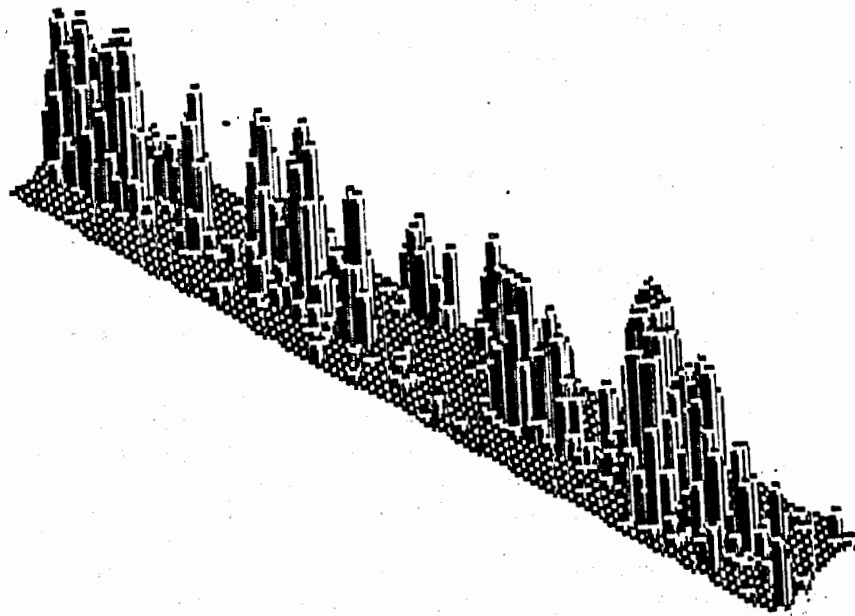


Рис. 1

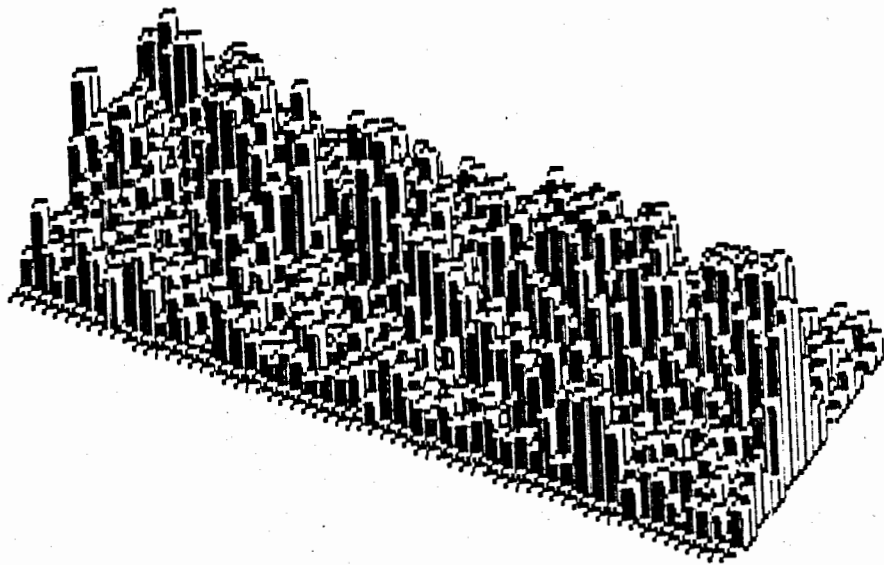


Рис. 2

вещ"/, выдающая пространственное изображение данных полутонного сканирования трека в виде призограммы оптической плотности на экран ПЭВМ в графическом режиме. Распечатки изображений двух участков треков приведены на рис.1,2 в качестве иллюстрации.

3. АЛГОРИТМЫ И ИХ ОПТИМИЗАЦИЯ

Вид поверхностей, изображающих рельеф полутонных изображений треков, показывает простой путь определения ионизации: подсчитать число пиков на этих поверхностях и принять его за число стримеров на треке. Задача эта осложняется прежде всего наличием шумов, затрудняющих, с одной стороны, выделение истинных пиков, а с другой - приводящих к появлению невысоких ложных пиков. Кроме того, в отличие от теоретической модели, предложенной в^{/11/}, вершины реальных пиков не расположены на оси трека, а имеют довольно значительный разброс вокруг нее.

Наличие шумовых эффектов обуславливает необходимость предварительного сглаживания поверхностей - процедуры, обычной для задач распознавания образов. Отсутствие априорной информации о распределении яркостей не позволяло воспользоваться хорошо разработанной теорией проектирования двумерных цифровых фильтров^{/12/} и требовало применения метода, устойчивого к видо-

изменению распределения /такие методы называются робастными^{/14/}. Одним из них является метод двумерной медианной фильтрации /ДМФ/.

На наш взгляд, метод ДМФ представляет самостоятельный интерес, поэтому опишем его подробно. Суть метода состоит в замене каждого элемента прямоугольной матрицы яркостей $m \times n$ на медиану из $k \times k$ его соседей. В качестве k берется небольшое нечетное число: $k = 3 \div 7$. Для реализации этой процедуры требуется из матрицы $m \times n$ выделить окно - подматрицу $k \times k$, упорядочить ее элементы и выбрать в этом упорядоченном наборе средний элемент /который и будет медианой/. Такое окно должно "пробежать" по всем столбцам и строкам исходной матрицы $m \times n$, чтобы полученные медианы образовали новую матрицу $(m-k) \times (n-k)$ - результат сглаживания исходной матрицы /здесь $k_1 = k - 1$ /. На рис.3 показан результат сглаживания по методу ДМФ с окном 5×5 , примененного к поверхности, изображенной на рис.2.

Детектирование пиков после сглаживания выполнялось путем выбора локального максимума, т.е. точки, яркость которой выше яркости окружающих ее восьми точек, образующих локальную окрестность 3×3 . При этом если оказывалось, что яркость данной точки равна яркости одной из ее окружающих, то проверялось, чтобы у последней не было более ярких соседей, иначе поиск перемещался в эту более яркую точку. Применение локальной окрестности 5×5 не дало улучшения результатов, возможно, потому, что поиск

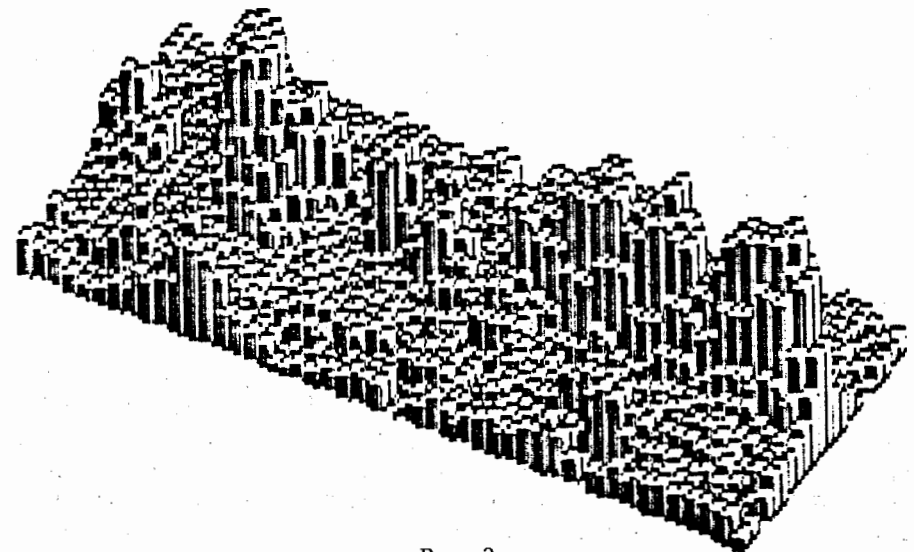


Рис. 3

велся в центральной полосе шириной 7 отсчетов, соответствующей среднему разбросу центров стримеров вокруг оси трека.

Алгоритм ДМФ работает медленно из-за многократного выполнения процедуры упорядочивания различных наборов из k^2 чисел. В^{13/} предложена быстрая реализация ДМФ, основанная на сокращении процедуры сортировки за счет использования уже отсортированных элементов соседнего окна /заметим, что соседние окна перекрываются по $k(k-1)$ элементам/. Для этой цели элементы текущего окна укладываются в гистограмму из 256 ячеек /по числу уровней квантования/. Каждый элемент попадает в ячейку, номер которой равен значению этого элемента. Медианой будет средний /т.е., $(k^2+1)/2$ -й/ ненулевой элемент гистограммы. При переходе к соседнему окну, например, при сдвиге окна на один столбец вправо, надо удалить из гистограммы k элементов крайнего левого столбца старого окна и внести в нее k элементов крайнего правого столбца нового окна /остальные $k(k-1)$ элементов входят в оба рассматриваемых окна и поэтому остаются в гистограмме на своих местах/.

Выбор оптимальных размеров окна при сглаживании проводился по критерию минимума относительной ошибки оценки ионизации, характеризующей устойчивость метода к случайным отклонениям и помехам.

В табл.1 приведены результаты программной обработки 13 треков пионов с помощью алгоритма ДМФ при трех значениях k .

Таблица 1

Ширина окна	Средняя ионизация	Среднеквадратическое отклонение	Относительная ошибка
$k = 3$	0,136	0,016	12%
$k = 5$	0,101	0,013	13%
$k = 7$	0,089	0,019	20%

Мы видим, что применение универсального метода ДМФ, не учитывающего специфику полутонового трекового изображения, дало значение минимальной относительной ошибки выше 10%. Это хуже, чем в алгоритме вырезания, ориентированном на бинарную информацию, но с учетом вышеуказанной специфики. Кроме того, скорость работы программы оказалась сравнимой со скоростью человека, визуально подсчитывающего число блобов на снимке. Желание повысить скорость обработки заставило нас вернуться к методам работы^{11/} с сохранением идеи сглаживания.

В работе^{11/} было предложено избавляться от второго измерения построением суммированием элементов исходной матрицы, т.е. суммированием яркостей на каждой скан-линии. Получив одномерный массив, мы сгладим его и подсчитаем число пиков, которое примем за число стримеров на треке. Для сглаживания использовался алгоритм одномерной медианной фильтрации /ОМФ/ - прямой аналог ДМФ, в котором используются медианы среди k соседей в одномерном массиве. Число локальных пиков, детектируемых в сглаженном массиве, принималось за число стримеров на треке.

В табл.2 приведены результаты программной обработки 13 треков пионов с помощью алгоритма ОМФ при четырех значениях k .

Таблица 2

Ширина окна	Средняя ионизация	Среднеквадратическое отклонение	Относительная ошибка
$k = 3$	0,188	0,007	4%
$k = 5$	0,157	0,0084	5,5%
$k = 7$	0,140	0,007	5%
$k = 9$	0,132	0,0096	7,3%

Оптимальным по точности и скорости работы оказался алгоритм ОМФ с шириной окна $k = 3$.

Для сравнения на том же экспериментальном материале были опробованы также следующие алгоритмы, не использующие идеи сглаживания:

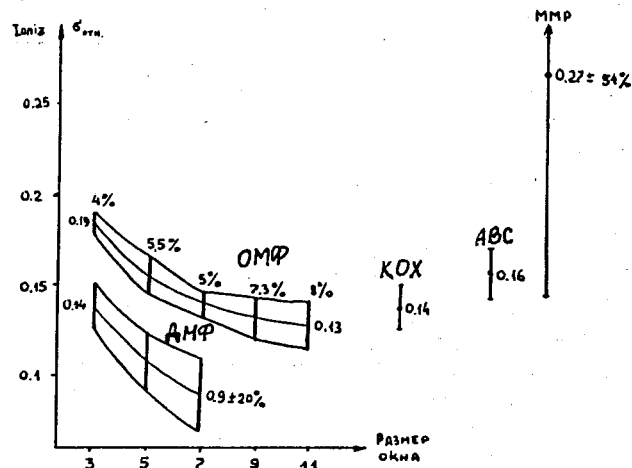


Рис. 4

- алгоритм ММП - оценки максимума правдоподобия по длинам промежутков между блобами;
- алгоритм вырезания стримеров /АВС/,
а также алгоритм КОХ /Кулюкиной, Ососкова, Халады/ из работы /11/, использующий сплайны для сглаживания и т.н. квазикривизну для детектирования стримеров в одномерном массиве суммарных яркостей.

Результаты сравнения представлены на рис. 4.

4. ВЫВОДЫ

Результаты сравнения показывают, что следует отказаться от алгоритмов ДМФ и КОХ как слишком медленных и от алгоритмов ММП - как необеспечивающего точность измерений ионизации.

Наиболее точный алгоритм ОМС при $k = 3$ уступает по времени алгоритму АВС, однако в режиме полутонного сканирования этот проигрыш незначителен, т.к. время обработки на одну скан-линию все равно меньше времени сканирования на автомате АЭЛТ-2/160. Поэтому обработка трека может вестись параллельно с его сканированием без дополнительных затрат времени.

Для осуществления этой идеи необходимо включение данной программы в математическое обеспечение ЭВМ СМ-4, управляющей автоматом АЭЛТ-2/160, и проведение массовых измерений в режиме опытной эксплуатации с последующим сравнением результатов автоматизированных измерений и результатов обработки на ПУОС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bohm G. et al. - In: Proc. of the First Intern. Conf. on Streamer Chamber Technology, ANL, 1972, p.117.
2. Dolgoshein B.A. et al. - NIM, 1964, 29, p.270.
3. Atherton H. et al. - In: Proc. Int. Conf. on Advanced Data Processing for Bubble and Spark Chambers, ANL-7515, Argonne, 1969, p.344.
4. Толкачев Д.А., Федотов О.П. - ИТЭФ-106, М., 1979.
5. Gluckstern R.L. - NIM, 1966, 45, p.166.
6. Bulos F. et al. - SLAC-PUB-74, Stanford, 1966.
7. Двуреченский А. и др. - В кн.: Труды V Межд. сов. по проблемам матем. моделирования, программирования и матем. методам решения физ. задач. ОИЯИ, Д10,11-84-818, Дубна, 1984, с.350.
8. Кадыков Г.М. и др. - В кн.: Совещание по программированию и матем. методам решения физ. задач, ОИЯИ, Д10-74-707, Дубна, 1974, с.51.

9. Бом Г. и др. - РНЕ 80-8, ИФВЭ АН ГДР, Цойтен-Бердин, 1980.
10. Вертоградов Л.С. и др. - ОИЯИ, Р10-86-261, Дубна, 1986.
11. Кулюкина Л.А. и др. - ОИЯИ, Р11-86-342, Дубна, 1986.
12. Обработка изображений и цифровая фильтрация. /Под ред. Т.Хуанга/, М.: Мир, 1979.
13. Быстрые алгоритмы цифровой обработки изображений. /Сб. под ред. Т.Хуанга/, М.: Радио и связь, 1987.
14. Хьюбер П. - Робастность в статистике. М.: Мир, 1984.
15. Баранчук М.К. и др. - ОИЯИ, Р10-88-804, Дубна, 1988.

Рукопись поступила в издательский отдел
8 января 1990 года.